

הזמנה לחקר - "שיווי משקל באמבט" אורית הרשקוביץ, מיכל ברונשטיין-טוחן, שולמית עצינוני, שירלי אברג'יל*

רקע

ניסויי החקר מלווים את הוראת הכימיה ומהווים חלק הן מנושאי הליבה (70% מתוכנית הלימודים) והן מנושאי הבחירה (המהווים 30%) [מתוכנית הלימודים](#).

ניסויי החקר בהוראת הכימיה משלבים מגוון מיומנויות חקר הכוללים: ניסוח שאלות חקר ומשתנים, ניסוח השערות מנומקות, תכנון וביצוע ניסוי, איסוף וארגון הממצאים, הסקת מסקנות ולבסוף העלאת שאלת חקר נוספת המתבססת על מסקנות תהליך החקר הראשון. במסגרת תהליך החקר במעבדת הכימיה באות לידי ביטוי גם מגוון מיומנויות חשיבה ברמה גבוהה כגון: מיומנויות גרפיות, מעברים בין ייצוגי מידע, חקר אירוע והנמקה.

התנסות התלמידים בניסויי חקר במעבדת הכימיה מאפשרים להם לא רק להכיר את שיטת העבודה המדעית, אלא גם לגלות בצורה עצמאית ופעילה הקשרים תאורטיים מעבר לאלו שנלמדו בכיתה, ובכך "ליצור" ידע חדש ולא רק לאשר ידע קודם.

מזה כשני עשורים מעבדת החקר משולבת בהוראת הכימיה וקיימים כיום [מגוון רחב של ניסויי חקר לתלמידי הכימיה](#). עם זאת מורים רבים מעוניינים לגוון את ניסויי החקר המוכרים, להכיר ניסויי חקר חדשים המתאימים לתלמידי הכימיה, במסגרת מגבלות החומרים שניתן להשתמש במעבדת הכימיה בבתי הספר מחד, ובהתאמה לתוכנית הלימודים מאידך. אחד הנושאים שניסויי החקר בו מעטים (אם בכלל) הוא שיווי-משקל כימי, ובפרט חקר שבו מיושם ידע הקשור לחוק לה-שטלייה והפרעות למצב שיווי משקל.

הקושי בפיתוח ניסויי חקר חדשים הוא בעיקרו מציאת "הרעיון" לניסוי.

במאמר זה נציג כיצד פיתחנו ניסוי מתוך מאגרי מידע אקדמיים בעולם בתחום הוראת הכימיה.

ד"ר אורית הרשקוביץ - עמית הוראה חבר וראש היחידה לכניסה להוראה בפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה בטכניון
גב' מיכל ברונשטיין טוחן - מורה לכימיה בבית ספר ניסויי על-אזורי בתפן ומובילה את קהילת מורי כימיה מובילים בטכניון
ד"ר שולמית עצינוני - מורה לכימיה בבי"ס גלים בכפר גלים בחיפה ומובילה את קהילת מורי כימיה מובילים בטכניון
ד"ר שירלי אברג'יל - חברת סגל ומרכזת קבוצת הכימיה בפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה בטכניון

החברה המלכותית לכימיה – RSC והחברה האמריקאית לכימיה ACS

החברה המלכותית לכימיה - Royal Society of Chemistry – RSC, היא ארגון מקצועי שנוסד בלונדון בשנת 1980 ומטרתו היא קידום מדעי הכימיה. הארגון מקדם מחקר, מוציא לאור כתבי עת, ספרים ומאגרי מידע וכן מקיים כנסים, סמינרים וקבוצות עבודה. תפיסת העולם של הארגון היא לקשר בין אנשים, להעלות רעיונות וליצור שותפויות. במסגרת זו פועל הארגון גם כדי לסייע למורי כימיה לקדם את הדור הבא של מדענים וחוקרים בתחום הכימיה. [באתר הארגון](#) יש חלק המיועד למורים (& teaching learning) ובו מאגר עצום של חומרי למידה הכולל ניסויים, סימולציות, שאלות, משחקים וסרטונים היכולים לסייע למורי כימיה. ניתן להתרשם ממאגר החומרים העצום המיועד להוראת הכימיה [בקישור זה](#).

חומרי הארגון נמצאים באתר באינטרנט, והם ניתנים חינם. ניתן גם בהרשמה קצרה לקבל אחת לחודש מידע עדכני של חומרי לימוד חדשים באתר.

החברה האמריקאית לכימיה American Chemical Society - ACS, מתמקדת בפרסומים הקשורים למחקר בהוראת הכימיה הכוללים כתבי עת (Journals), ספרים מקוונים (eBooks) ותוכניות מדעיות. כתבי העת המרכזיים של הארגון הם: Journal of chemical education והמגזין: Chemical & Engineering News.

ניתן לצפות [במגוון המאמרים השונים באתר העיתון](#) ובתקצירי המאמרים. לקריאת המאמר המלא יש להיות מנויים לעיתון או דרך מוסד אקדמי.

שתי מסגרות אלו נותנות בסיס מצוין לפיתוח ניסויי חקר חדשים לתלמידי הכימיה. כמובן, יש להתאים את הניסוי/הרעיון לגישת החקר המקובלת בהוראת הכימיה בארץ.

להן מוצג ניסוי חקר בנושא שיווי משקל, שפותח עבור קהילת המובילים בכימיה בטכניון ומבוסס על מידע מהעיתון Journal of chemical education (2021).

ניסויי חקר – שיווי משקל באמבט

הפעילות מבוססת על רעיון שתואר במאמר בעיתון: Journal of Chemical Education (2021):

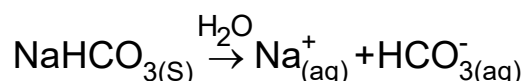
[Using Sodium Hydrogen Carbonate to Teach Chemical Concepts of Thermodynamics](#)

במאמר מוצעות שבע פעילויות למידה הקשורות לשימוש בסודה לשתייה מוצק: $\text{NaHCO}_3(s)$ ובהם משולבים ניסויים קצרים המאפשרים העמקה של מושגים בכימיה. אחד הנושאים הוא שיווי-משקל כימי ואותו בחרנו להתאים לתלמידי הכימיה בארץ. במאמר מוצג הניסוי באופן כללי, ותוצאותיו מוצגות בתמונות אשר מהן פותח ניסוי החקר והדיון המלווה שיוצג להלן.

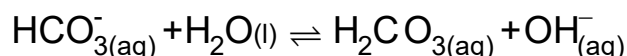
הצגת הנושא בכיתה

ניתן לפתוח את הנושא בדיון בכיתה, שבו מתבקשים התלמידים להעלות השערה מנומקת לשאלת החקר: **האם - ואם כן כיצד - ישתנה ה-pH בתהליך המסת נתון מימן פחמתי במים?**

בהתאם לידע המקדים של התלמידים, הם יכולים לנסח את תגובת ההמסה:



כדי לענות על שאלת החקר, יש לתת לתלמידים גם את ניסוח התהליך הבא:



מכיוון ש-pH של מים הוא 7, לאחר הוספת $\text{NaHCO}_3(s)$ ובהתאם לניסוח התגובות הנ"ל, ה-pH יעלה, והתמיסה תהפוך לבסיסית. מומלץ כמובן להתייחס למשמעות תהליך שיווי המשקל בתגובה.

הצגת התופעה – חימום תמיסת נתרן מימן כחמתי

ביצוע הניסוי הוא פשוט, וניתן לבצעו בכיתה או להראות אותו באופן תאורטי כדי לערוך דיון ואחריו להעלות שאלות חקר. מהלך הניסוי כולל את השלבים האלה:

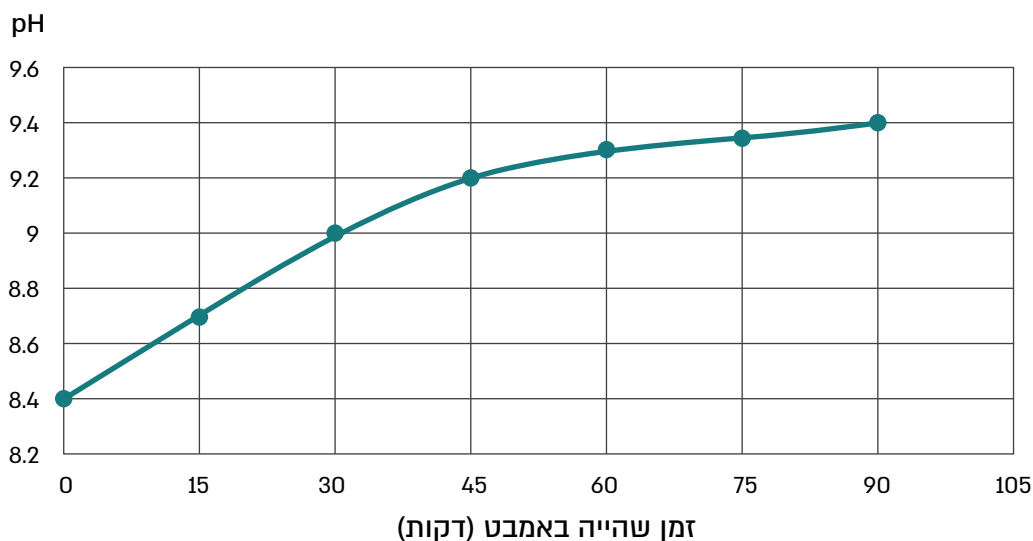
- המסת נתרן מימן כחמתי במים.
- העברת כמות מדודה של תמיסת נתרן מימן כחמתי ל-8 מבחנות.
- העברת המבחנות לאמבט מים חמים (כ-90 מעלות צלזיוס).
- המתנה של כשעתיים שבמהלכן יש להוציא כל רבע שעה מבחנה אחת ולמדוד את ה-pH של התמיסה.



בדיון מומלץ להתייחס להיבטים הבאים:

1. מהי שאלת החקר המתאימה לניסוי? (האם וכיצד משתנה ה-pH של התמיסה כתלות במשך זמן שהות התמיסה באמבט מים חמים?)
2. מהו המשתנה התלוי ומהו המשתנה הבלתי תלוי? (משתנה תלוי: pH. משתנה בלתי-תלוי: משך זמן שהות התמיסה באמבט מים חמים.)
3. מהם הגורמים הקבועים שיש לשמור בניסוי? (גורמים קבועים: טמפרטורת אמבט המים החמים, נפח התמיסה.)
4. העלו השערה מנומקת, מה יהיו תוצאות הניסוי.
5. לפי השערתכם, הציעו גרף מתאים לתוצאות הניסוי והסבירו אותו.

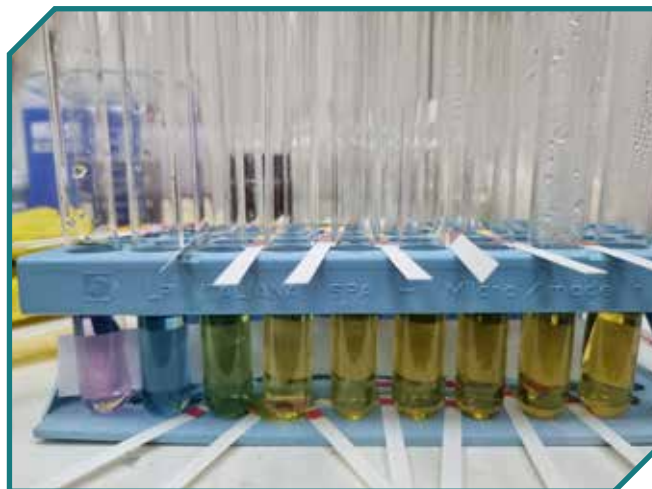
באיור 1 ניתן לראות את תוצאות הניסוי על פי הנתונים שהוצגו במאמר. ניתן לראות כי ה-pH של התמיסה עולה ככל שזמן השהייה באמבט המים החמים גדל.



איור 1: תלות ה-pH של תמיסת נתרן מימן כחמתי בזמן השהייה באמבט (לפי: Daisuke K., 2021)

בדיון מומלץ להתמקד בהשערות שיעלו התלמידים ביחס לתוצאות שהתקבלו ובהסבר לתופעה, שבה ככל שהשהייה באמבט המים החמים ארוכה יותר, כך ה-pH של התמיסה עולה.

באיור 2 ניתן לראות תוצאות של אותו ניסוי המבוססות על שינויים בצבע אינדיקטור מי כרוב כמדד ל-pH.

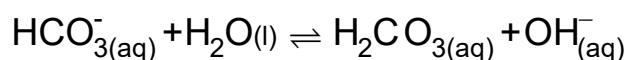


איור 2: תוצאות הניסוי כפי שבוצע במעבדה בעזרת אינדיקטור מי כרוב

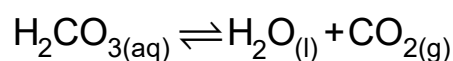
באיור ניתן לראות את המבחנה השמאלית - עם התמיסה בצבע סגול שבה היו מים ללא נתרן מימן פחמתי; המבחנה עם התמיסה בצבע הכחול - שלא עברה חימום; המבחנה עם התמיסה בצבע הירוק - התקבלה לאחר שהייה באמבט במשך 15 דקות; המבחנה עם התמיסה בצבע הצהוב השמאלי - לאחר שהייה באמבט במשך 30 דקות וכו'.

הסבר לממצאי הניסוי

יוני המימן הפחמתי מגיבים עם המים לקבלת חומצה פחמתית ויוני הידרוקסיד בתגובת שיווי-משקל. התגובה היא אנדותרמית.



החומצה הפחמתית היא חומצה חלשה שכמעט ואינה מתפרקת ליונים. היא עצמה מתפרקת למולקולות מים וכחמן דו-חמצני בהתאם לניסוח התגובה הבאה:



בחימום, לפי חוק לה-שטלייה, מופר שיווי המשקל של יוני מימן פחמתי במים, לכיוון התוצרים. מתקבלים יותר יוני הידרוקסיד, והתמיסה הופכת בסיסית יותר.

ניתן להסיק כי: ככל שזמן שהות התמיסה באמבט מים חמים גדל, מולקולות CO_2 רבות יותר עוזבות את פני הנוזל. כתוצאה מכך, לפי חוק לה-שטלייה, שיווי-המשקל מופר לכיוון התוצרים, וכך מתקבלים יותר יוני הידרוקסיד, ולכן התמיסה הופכת בסיסית יותר.

סיכום

נתרן מימן פחמתי ($\text{NaHCO}_3(\text{s})$) הנו חומר מוכר ומצוי בשימוש יומיומי בבית. היונים שלו נמצאים בגופנו, באדמה ובים. במסגרת לימודי הכימיה, קיימים מגוון ניסויי חקר שבהם משתמשים התלמידים בחומר זה, בהמסה שלו במים ובתגובה שלו עם חומצה.

בניסוי החקר המתואר לעיל ישנו חידוש כפול בדרך השימוש במלח נתרן-מימן פחמתי:

האחד – חקר המתמקד במעקב אחרי זמן שהות התמיסה באמבט מים חמים,

והשני – התגובה הנחקרת היא תגובת שיווי משקל, וההסבר לניסוי ממוקד בהבנת חוק לה-שטלייה.

בעקבות הניסוי ניתן להעלות מגוון שאלות חקר נוספות היכולות לשמש לצורך ניסוי חקר ברמה זו. בנספח מצורף פרוטוקול מלא לניסוי חקר ברמה זו, שעובד מתוך הניסוי במאמר, וניתן ליישמו בכיתה.

לסיכום - ניתן ומומלץ להיעזר בחומרי לימוד ובמאגרי מידע המצויים בכתבי עת בינלאומיים העוסקים בחינוך בהוראת הכימיה. השימוש במאגרי המידע למורים של החברה המלכותית לכימיה RSC והחברה האמריקאית לכימיה ACS – הזמינים באינטרנט, מאפשרים למורי הכימיה בארץ להעשיר ולגוון את ידע התוכן הפדגוגי PCK שלהם ולהוות מקור טוב לרעיונות הוראה חדשים בכלל ולניסויי חקר בפרט.

[שיווי משקל באמבט - ניסוי חקר רמה](#)

מקורות

1. Daisuke K. (2021). Using Sodium Hydrogen Carbonate to Teach Chemical Concepts of Thermodynamics. *Journal of Chemical Education*. DOI: 10.1021/acs.jchemed.1c00680

